

地下鉄トンネルの点検データを用いた経年劣化予測の試み

早稲田大学 フェロー会員 赤木 寛一
早稲田大学大学院 学生会員 〇畠山 潤

1. はじめに

近年、社会資本のマネジメント手法としてアセットマネジメントを適用する動きが増えている。アセットマネジメントは従来、個人や企業の金融資産管理に用いられてきたが、この動きは社会資本を公共の資産であると考えたものであり、欧米などではその実践および ISO 化を目指した基準策定などが進められている。アセットマネジメントの導入により、(1)最適な費用の明示、(2)ライフサイクルコストの削減、(3)最適な投資の選定およびその効果と成長の判断、(4)統一した基準による資産管理、(5)問題個所の早期発見と適切な対処、(6)最適な中長期計画の立案、などが可能となる。

本研究は、既存の地下鉄トンネルを対象としてアセットマネジメント手法に基づく最適なマネジメントを検討することを目的として実施した。しかし、社会資本のアセットマネジメントは、組織の経営・運営戦略と強く関わりを持つためその内容は多岐にわたり、土木工学にとどまらない複雑な手法となる。ここでは、地下鉄トンネルの劣化とその修繕に着目し、劣化調査データをもとに、経年に伴う劣化推移特性を求め、それを利用した将来の劣化を予測し、劣化レベルに応じた最適な修繕パターンの検討を試みた。

2. 点検結果とデータ整理

本研究では、既存の地下鉄トンネルの建設年次、劣化の変状ランクなどを記録した調査データを用いて、劣化予測することとした。実際の判定に利用されている変状

表 1 変状ランクの概要

AA	列車の運行、および旅客などの安全の確保を脅かし、緊急の措置を要するもの
A1	進行している変状等があり、構造物の機能が低下しつつあるもの
A2	変状等があり、将来それが構造物の機能を低下させるおそれのあるもの
B	将来、変状ランク A になるおそれのある変状等があるもの
C	軽微な変状等があるもの
S	健全なもの

ランクを表 1 に示す。調査は 2010 年に行われたもので、既存の 9 路線すべてについて実施されたものである。なお近年では、深刻な変状に相当する AA の変状ランクは事例なしである。

データの整理は、次の手順で行った。

- 1) 各路線のトンネル延長を 5m ごとのスパンに区切り、各スパンについて調査データに基づいて変状ランクを割り当てる。
- 2) 一つのスパン内に複数の変状が記録されている場合は、より劣化が進んでいる方のランクを採用する。
- 3) 各スパンの完成年次および地盤特性を記録し、それらについて分類する。トンネル設置位置の地盤特性は、比較的安定した A 地盤と、軟弱な B 地盤とに分類されている。
- 4) 対象トンネルの完成年次からの経年に対応した各変状ランクの個数をトンネル延長で除し、変状の存在確率を求める。

以上の手順で整理したデータ（サンプルスパン数：65720）をもとに、地下鉄トンネルの経年に伴う劣化推移特性を求め、その結果を利用して劣化予測を行った。

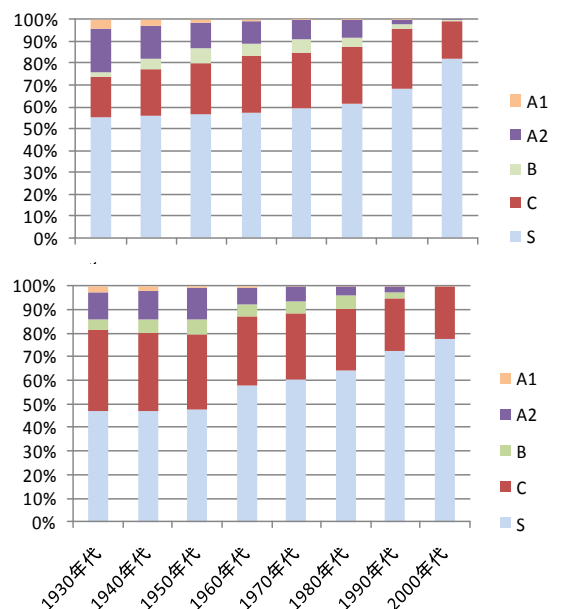


図 1 変状ランクの存在確率（上：A 地盤、下：B 地盤）

キーワード アセットマネジメント、地下鉄トンネル、劣化予測、維持補修

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 西早稲田キャンパス 58 号館 205 号室 Tel: 03-5286-3405

図 1 はすべての路線についてトンネルの完成年次に対応する表 1 の変状ランクの存在確率を地盤種別ごとに求めたものである。良質な A 地盤の方が軟弱な B 地盤と比べて、完成年次の古いトンネルでも健全な S ランクの比率が高く、変状の経年劣化が少ないことが分かる。

3. 経年による劣化予測と修繕方策

表 2 変状ランクの存在確率 (例)

	S	C	B	A2	A1
1968年	57.94%	27.95%	5.42%	8.36%	0.33%
1969年	58.09%	28.03%	5.39%	8.20%	0.29%
1970年	58.24%	28.11%	5.36%	8.03%	0.25%
1971年	58.39%	28.19%	5.34%	7.87%	0.21%
1972年	58.54%	28.27%	5.31%	7.71%	0.17%
1973年	58.69%	28.35%	5.29%	7.54%	0.13%

劣化予測は、2. で求めた推移確率行列を用いて行った。建設完成から t_n 年経過したトンネルの変状の存在確率を P_X とすると、 t_{n+1} 年経過したトンネルの変状ランクの存在確率 P_X は式(1)で与えられる。 K_{CC} は変状ランク C が翌年にランク C を維持していること、 K_{CB} はランク C が翌年ランク B に悪化する事象の割合を表わす。なお、ここでは次の条件を仮定してシミュレーションを行った。

- トンネルの劣化変状ランクが、維持補修することなく自然に改善することはない。
- 変状ランクの 1 年ごとの変化は、同じランクを維持するか、または 1 段階悪化する事象の 2 通りである。
- 2010 年における変状の存在確率は、S ランクが 100% である。

$$\begin{matrix} \{P_C' & P_B' & P_{A2}' & P_{A1}'\} \\ t = t_{n+1} \end{matrix} = \begin{matrix} \{P_C & P_B & P_{A2} & P_{A1}\} \\ t = t_n \end{matrix} \begin{bmatrix} K_{CC} & K_{CB} & K_{CA2} & K_{CA1} \\ 0 & K_{BB} & K_{BA2} & K_{BA1} \\ 0 & 0 & K_{A2A2} & K_{A2A1} \\ 0 & 0 & 0 & K_{A1A1} \end{bmatrix} \dots\dots (1)$$

上記の推移確率行列 (表 3 参照) を連続的に乗ずることですべての路線について将来のトンネル劣化ランクの存在確率を求めることができる。さらに、変状ランクに対して数値による重みづけをし、修繕方策の検討を試みる予定である。重みづけは、S : 10 点、C : 8 点、B : 6 点、A2 : 3 点、A1 : 1 点としているが、重みづけ点数は現在具体的な基準がないため、メンテナンス担当者数名の経験によるもので、列車の走行安全性を要求性能としている。

表 3 推移確率行列の例
(経年 49 年から経年 50 年の場合)

	経年50年	S	C	B	A2	A1
経年49年		56.69%	25.66%	6.20%	10.69%	0.75%
S	56.85%	0.997	0.003	0.000	0.000	0.000
C	26.07%	0.000	0.978	0.022	0.000	0.000
B	6.06%	0.000	0.000	0.929	0.071	0.000
A2	10.32%	0.000	0.000	0.000	0.994	0.006
A1	0.69%	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000

その結果については発表会当日で報告予定である。

4. まとめ

ここでは、地下鉄トンネルを対象として既存の点検データをもとに、経年に伴う劣化推移特性を求め、その結果を用いて将来の劣化進行を予測し、劣化レベルに応じた修繕方策を検討した。以下に得られた結果を記す。

- 過去の調査データから劣化レベルに対応するトンネルスパンの存在確率を求めることにより、推移確率行列を用いて将来の経年劣化パターンを連続的に算出することができる。
- 将来の劣化の存在確率に適切な重みづけ点数をつけることで、劣化レベルに応じた修繕方策の検討が可能となる。

本研究を進めるにあたり、東京地下鉄㈱から多大なご協力をいただいた。記して謝意を表する。

参考文献) 赤木, 志賀, 橋本, 林:電気通信ネットワーク地下構造物の維持管理の一提案, No.6-193, pp385~386, 土木学会第 62 回年次学術講演会, 2007 年 9 月